

Лопатьєв, А.О., Власов, А.П. & Демічковський, А.П. (2017). Особливості моделювання біомеханічних та біологічних систем. *Теорія та методика фізичного виховання*, 17 (2), 79-85. doi: 10.17309/tmfv.2017.1.1192
ISSN 1993-7989 (print). ISSN 1993-7997 (online)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ФІЗИЧНОМУ ВИХОВАННІ І СПОРТІ

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ ТА БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Лопатьєв А.О.^{1,2}, Власов А.П.¹, Демічковський А.П.¹

¹Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського

²Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача

Прийнято до публікації: 20.06.2017

Опубліковано: 25.06.2017

DOI: 10.17309/tmfv.2017.2.1192

Анотація

Мета: полягає в поєднанні методів та принципів біомеханіки та механіки суцільного середовища для постановки та розв'язку задач, що мають практичне застосування в екстремальних умовах.

Матеріали і методи: досліджувався рух крові по великих судинах на основі рівняння Ейлера та Нав'є-Стокса. Для характеристики функціонального стану спортсмена використано аналіз роботи серцево-судинної системи. Початкові експериментально виміряні частоти серцевих скорочень (ЧСС), визначені кардіомонітором Polar RS800. Одержаний часовий ряд проаналізовано за допомогою програмного пакету Kubios HRV.

Результати: в статті пропонується розглядати модель, що описує людину у вигляді дискретно-неперервної системи. З використанням рівняння Ейлера розглянуто математичну модель руху крові по великих судинах. Приведено математичну модель процесу поширення пульсових хвиль у кровоносних судинах. Проведений пошук та інтерпретація прихованих періодичностей стосовно числових рядів, що мають місце в тренувальній та змагальній діяльності спортсменів, при аналізі їх біологічних та серцевих ритмів.

Висновок: використання методів та принципів механіки суцільного середовища дає можливість робити постановку та розв'язувати задачі математичної фізики для потреб необхідних для практики. До таких задач відносяться рух крові по великих судинах, питання теплозахисту та інше. Частота серцевих скорочень змінюється впродовж дня і має коливний характер з певними періодами; періоди ЧСС залежать від активності людини та періоду доби; водночас ЧСС має тенденцію до зменшення амплітуди та суттєво залежить від навантаженості людини.

Ключові слова: біологічна та біомеханічна система; гравітаційне поле; частота серцевих скорочень.

Вступ

Людина в процесі життєдіяльності контактує з зовнішнім середовищем та знаходиться під дією різноманітних полів серед яких наявні гравітаційне, теплове, електромагнітне та інші. Часто виникають екстремальні ситуації або об'єкт сам їх створює. До останнього можна віднести катастрофічні явища та спорт вищих досягнень.

Будемо розрізняти три рівні організації матерії: нежива, жива, суспільство. Під поняттям «рух» будемо розуміти будь-яку зміну взагалі, усіляку взаємодію матеріальних об'єктів. Поставимо завдання виділити реальні рухи з множини допустимих та сформулювати принципи відбору. Розподіл організації матерії на три рівні виправданий якісно різними принципами відбору реальних рухів.

На рівні «неживої матерії» головні принципи відбору – закони збереження речовини, імпульсу, енергії і так далі. Необхідно також враховувати 2-й закон термодинаміки, принципи мінімуму дисипації енергії та стійкості. Дуже важливо усілякого роду умови: початкові, граничні та інші. Принцип мінімуму дисипації енергії відбирає з числа можливих рухів, котрі підкорюються законам збереження, ті рухи, реалізація котрих призводить до мінімуму зростання ентропії.

На рівні живої матерії усі принципи відбору рухів, які є справедливими в неживій, зберігають свою силу. Тому і тут моделювання розпочинається з запису законів збереження. Однак основні зміни виявляються іншими. Мова йде про біологічну макросистему. Головний зміст процесів – існування суспільств біологічних видів. При функціонуванні живих організмів відбувається формування рухів, що не впливають із законів збереження, а є ви-

значальними у функціонуванні неживої природи. Тут справа ускладнюється тим, що живій природі властиві цілеспрямовані дії. Тому пояснити спостережене в живому світі без використання понять зворотного зв'язку та інформації є неможливим.

Стан живого – це деяка властивість системи (її характеристика), котра може бути прикладена тільки до організованої системи. Характерною особливістю живої системи є здатність реагувати на зміни зовнішнього середовища. Така особливість повинна знайти своє відображення при побудові моделі тієї чи іншої біологічної системи. Таке можливо здійснити, наприклад, якщо ввести в модель добре відоме в біології поняття гомеостазу.

Будемо називати областю гомеостазу організму (або областю стійкості) таку область зовнішніх параметрів (параметрів середовища), всередині котрих можливе існування організму. Наявні також інші визначення. Наприклад, під гомеостазом розуміють підтримку постійного існування параметрів організму для забезпечення оптимального режиму внутрішнього середовища, властивість організму утримувати свої характеристики в допустимих межах. Це свідчить про те, що при різних зовнішніх умовах він повинен вести себе таким чином, щоб його стан не вийшов з меж параметрів, які забезпечують можливість продовження існування організму.

Кожен організм оцінює своє положення відносно меж гомеостазу. Отримуючи інформацію про стан навколишнього середовища, він формує свої дії в залежності від характеру цієї інформації. Реальні рухи організму вибираються таким чином щоб з допомогою зворотного зв'язку відійти від гомеостатичної межі. Саме в цьому і проявляється цілеспрямованість поведінки організму. Таким чином, живий організм володіє певними діями, зокрема він здатний змінювати:

- своє положення відносно меж області гомеостазу;
- в певних умовах свої внутрішні характеристики, спотворюючи таким чином саму область гомеостазу (здатність до адаптації);
- в залежності від умов свого функціонування, деякі характеристики навколишнього середовища.

Намагання зберегти свій гомеостаз породжує в деякій мірі певні механізми відбору реальних рухів (поведінки), які не виходять з принципів, котрі визначають хід процесів в не живій природі.

Таким чином, при моделюванні біологічних систем ми повинні опиратися на закони збереження (рівняння балансу) і систем зворотного зв'язку (функції поведінки), та якщо в фізиці математичні моделі мають прогностичну природу, то в біології та суспільних дисциплінах математичні моделі потрібні не стільки для отримання кількісних харак-

теристик, скільки для знаходження оцінок, котрі дозволяють визначити допустимі межі наших дій та тенденцій розвитку процесів котрі вивчаються та описані у роботах Власов А., Демічковський А., Іващенко О., Лопатєв А., Пітин М., П'янило Я., Худолій О. (2016), Khudolii, O.M., Ivashchenko, O.V., Iermakov, S.S., & Rumba O.G. (2016), Lopatiev A., Ivashchenko O., Khudolii O., Pjanylo Y., Chernenko S., & Yermakova T. (2017).

Основними поняттями класичної механіки є матеріальні тіла, простір та час як форма існування матерії, маса як міра інертності матеріальних тіл та сила, як міра механічної взаємодії матеріальних тіл. Сила є вектор, що характеризується точкою прикладання, напрямком та чисельною величиною.

В біомеханіці, яка вивчає просторові рухи живих біологічних макро- та мікрооб'єктів виокремлюються ергонічна біомеханіка, сфера інтересів якої механічна взаємодія людини з навколишнім середовищем та пристосування різноманітних спортивних пристроїв до рухових потреб людини. В сучасній біомеханіці об'єднуються ідеї і методи системно-структурного підходу, оптимізації, автоматизованого контролю, моделювання. Біомеханічний аналіз розглядає тіло людини як складну біомеханічну систему, котра має біоланки, біопари, біоланцюги, які з м'язовою системою та кістковими важелями засновують опорно-руховий апарат тіла людини, за допомогою якого виконується рухові дії людини, які наведені у роботах Архипова О. (2014) та Кашуби В. (2016).

Сили, що діють на тіло, можна умовно розподілити на рушійні та гальмівні. В подальшому класифікація сил йде в залежності від потреб або задач які треба розв'язувати. При цьому основні ідеї для класифікації запозичені з теоретичної механіки, де сили в основному розглядаються як зосереджені. В механіці суцільного середовища основна увага приділяється об'ємним або масовим та поверхневим силам. Об'ємна сила – це сила, що розподілена по деякому об'єму або масі. Число масових сил невелике. Це по перше сила тяжіння (вага) і взагалі гравітаційні сили, що задовольняють закон все-світнього тяжіння Ньютона, електромагнітні сили, сили інерції. Іноді при вивченні конкретних рухів масові сили вводяться штучно.

Основну роль в механіці суцільного середовища відіграють не масові, а поверхневі сили, тобто сили розподілені по поверхні суцільного середовища. Сили також розподіляють на внутрішні та зовнішні. Сили називаються внутрішніми якщо вони викликані об'єктами, що належать до системи рух якої розглядається, зовнішніми – якщо вони викликані зовнішніми до системи об'єктами.

Внутрішні сили, як сили взаємодії між точками системи, є функціями віддалі між цими точками і

мають напрям прямої, що їх з'єднує. Якщо точки системи зв'язані між собою незмінно, тобто так, що відстань між двома довільними точками залишається незмінною, то така система називається незмінною, а тіло – абсолютно твердим тілом; в протилежному випадку система називається змінною, а тіло пружним.

Для незмінної системи робота зовнішніх сил йде тільки на приріст кінетичної енергії системи, якщо система змінна, то робота зовнішніх сил йде на приріст кінетичної енергії та на зміну внутрішньої енергії системи (наприклад – пружної енергії).

Сила притягання між тілами здійснюється через гравітаційне поле (поле тяжіння), котре є однією із форм існування матерії (Архипов О., 2014; Лапутин А., 1999). На поміщену в гравітаційне поле матеріальну точку діє сила притягання, прямо пропорційна масі цієї точки. Векторною характеристикою гравітаційного поля є напруженість гравітаційного поля \vec{g} , яка характеризує величину сили, що діє на одиницю маси. Якщо ϕ – потенціал гравітаційного поля, то:

$$\vec{g} = -\text{grad}\phi = -\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\phi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\phi}{\partial z}\vec{k}\right).$$

Для гравітаційного поля, що створюється матеріальною точкою з масою m , яка знаходиться в початку координат, маємо:

$$\vec{g} = -f \frac{m}{r^2} \vec{e}, \quad \phi = -f \frac{m}{r} + C,$$

де r – відстань від початку координат до довільної точки, в якій цікавимося гравітаційною напруженістю \vec{g} , C – довільна стала, що залежить від вибору початку відліку ϕ , \vec{e} – одиничний вектор напруженості гравітаційного поля.

Потенціал ϕ гравітаційного поля, що створюється довільно розподіленими в просторі масами, задовольняє рівняння Пуассона:

$$\Delta\phi = -4\pi f\rho,$$

де ρ – об'ємна густина розподілу маси.

Матеріали і методи

Мета: полягає в поєднанні методів та принципів біомеханіки та механіки суцільного середовища для постановки та розв'язку задач, що мають практичне застосування в екстремальних умовах.

Об'єкт дослідження: біологічні та біомеханічні системи та підсистеми.

Результати та їх обговорення

Пропонується розглядати модель, що описує людину у вигляді дискретно-неперервної системи.

Тобто ми поєднуємо результати які мають місце в біомеханіці та механіці суцільного середовища.

Наведемо рівняння руху суцільного середовища (закон збереження імпульсу), для рідини тіла, які будуть нам потрібні для подальших досліджень.

В векторному дослідженні рівняння руху ідеальної рідини (рівняння Ейлера) мають вигляд:

$$\rho\vec{a} = \rho\vec{F} - \text{grad}p,$$

де \vec{a} – вектор прискорення, \vec{F} – вектор масових сил, p – тиск, ρ – густина.

Рівняння руху в'язкої нестисливої рідини (рівняння Нав'є – Стокса):

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho}\text{grad}p + \frac{\mu}{\rho}\Delta\vec{v},$$

де μ – коефіцієнт в'язкості.

П'янилом Я., Лопатьєвим А., Борецьким Ю., Череватим В. (2017) з використанням рівняння Ейлера досліджені рівняння руху рідини в гнучких трубках, останнє можна розглядати як математичну модель руху крові по великих судинах.

Внутрішньосудинний тиск крові є одним з основних параметрів, за яким роблять висновок про функціонування серцево-судинної системи. Між артеріальним тиском, об'ємною швидкістю крові та опором судини є певна функціональна залежність. Очевидно, що поряд з цими параметрами на процес руху крові впливають і інші параметри, зокрема сила гравітації, еластичність судин, траєкторія руху тощо. Відмінною особливістю характеристики серцево-судинної системи є вимога обчислювати всі складові параметри в кількісному виді. Для цього будуються адекватні математичні моделі процесу руху крові в судинах. Однією із задач, які можуть бути розв'язані на базі математичних моделей, є введення лікарських препаратів.

З урахуванням сили тертя і впливу сили тяжіння, розподіл тиску крові в судинах великого діаметру за усталеного руху та усереднених параметрів, можна описати диференціальним рівнянням:

$$\frac{dp}{dx} + \frac{\lambda\rho q^2}{2DA^2} + \rho g \frac{dh}{dx} = 0,$$

де $p = p(x)$ – розподіл тиску вздовж судини; ρ – густина крові, D – внутрішній діаметр судини; x – біжуча координата $x \in [0, l]$, де l – довжина судини; g – прискорення вільного падіння; $h = h(x)$ – крива, що описує траєкторію руху крові; $q = vA$ об'ємна витрата (v – швидкість); $A = \pi D^2/4$; λ – гідравлічний опір.

Розглянуто випадки неперервного та рівномірного відборів (введення) рідини.

Обчислювальний експеримент проведено за таких значень параметрів: вхідний тиск – 100 мм. рт. ст., динамічна в'язкість 0,0027 Па·с, товщина стінки – 0,0004 м, довжина судини – 0,24 м, початкова густина

Таблиця 1. Значення тисків рідини при швидкості руху 0.35 м/с, діаметрі судини 0.01 м.

x	Вертикальна судина					Горизонтальна судина				
	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4
0.02	13332	13084.4	13312.5	13085.2	13098.2	13332	13318	13312.5	13318.8	13331.8
0.04	13332	12920.4	13299.5	12919.7	12942.3	13332	13309.7	13299.5	13309	13331.6
0.06	13332	12674.3	13280	12670	12708.4	13332	13297.3	13280	13292.9	13331.3
0.08	13332	12510.3	13267	12502.5	12552.5	13332	13289	13267	13281.1	13331.1
0.1	13332	12264.3	13247.5	12249.6	12318.6	13332	13276.6	13247.5	13261.9	13330.8
0.12	13332	12100.3	13234.5	12079.9	12162.6	13332	13268.3	13234.5	13247.9	13330.6
0.14	13332	11854.3	13215	11823.6	11928.7	13332	13255.8	13215	13225.2	13330.3
0.16	13332	11690.3	13202	11651.5	11772.8	13332	13247.6	13202	13208.8	13330.1
0.18	13332	11444.2	13182.5	11391.5	11538.8	13332	13235.1	13182.5	13182.4	13329.7
0.2	13332	11280.2	13169.5	11216.8	11382.9	13332	13226.9	13169.5	13163.4	13329.5

крові – 996 кг/м³, густина на виході – 993 г/м³. Результати обчислень подано в таблиці 1, де позначено: P_0 – значення тиску на вході в судину; P_1 – значення тиску на виході з судини без відбору; P_2 – значення тиску на виході з судини без відбору за відомими в літературі моделями; P_3 – значення тиску на виході з судини з рівномірним відбором за сталих чисел Рейнольдса, що враховується рівномірною зміною самого відбору; P_4 – значення тиску на виході з судини з рівномірним відбором, що враховується рівномірною зміною чисел Рейнольдса.

Результати, отримані під час числового експерименту, добре узгоджуються з відомими в літературі та реальними даними з дослідження руху рідини в судинах. Зокрема, отримані результати підтверджують необхідність урахування розміщення судини відносно горизонту, оскільки розподіл тиску у вертикальних і горизонтальних судинах істотно відрізняється. Як було відзначено, результати отримано в усталеному режимі руху. Очевидно, що на практиці необхідно досліджувати рух у неусталеному режимі з відповідними крайовими умовами. Подані в праці результати підтверджують правильність вибраного підходу для проведення досліджень у неусталеному режимі.

На основі рівнянь гідродинаміки та теорії пружності побудовано фізико-математичну модель для опису процесу поширення пульсових хвиль у кровоносних судинах (Благітко Б., Заячук І., Трач В., Пирогов О., 2007). У рамках лінійної теорії проаналізовано основні закономірності даного про-

цесу. Одержано аналітичні співвідношення, які пов'язують швидкість поширення плоских хвиль тиску і параметри рідини та тонкостінної оболонки у незбуреному стані. На основі отриманих результатів проаналізовано природу суттєвих розбіжностей між хвильовими процесами в еластичних судинах та абсолютно жорстких трубах.

У своїх роботах П'янило Я., Лопатєв А., П'янило Г., Власов А. (2017) проводять пошук та інтерпретацію прихованих періодичностей стосовно числових рядів, що мають місце в тренувальній та змагальній діяльності спортсменів, при аналізі їх біологічних та серцевих ритмів.

Представлено початкові експериментально виміряні частоти серцевих скорочень (ЧСС), визначені в спортсменки кардіомонітором Polar RC800 з посекундною часовою дискретизацією протягом тренувального дня під час навчально-тренувального збору. Одержаний часовий ряд проаналізовано за допомогою програмного пакету Kubios HRV, в якому для статистичних розрахунків та визначення варіабельності серцевого ритму використано відповідні інтервали часу між поштовхами серця (RR). Цей програмний продукт надає змогу визначити основні характеристики роботи серцево-судинної системи спортсменки у різних часових періодах тренувального дня – зарядка, тренування, відпочинок. Частота серцевих скорочень людини змінюється впродовж дня в залежності від часу і має коливний характер з певними періодами. Періоди ЧСС, своєю чергою, залежать від активності людини та періоду

добі. Водночас ЧСС має тенденцію до зменшення амплітуди. Окрім цього, значення ЧСС суттєво залежить від навантаженості людини. Все це підтверджує необхідність проведення достатньо детальних досліджень ЧСС людини, вплив на неї як зовнішніх, так і внутрішніх факторів та кореляцію між ними.

Висновок

Використання методів та принципів механіки суцільного середовища дає можливість робити постановку та розв'язувати задачі математичної фізики для потреб необхідних для практики. До таких

задач відносяться рух крові по великих судинах, питання теплозахисту та інше. Частота серцевих скорочень змінюється впродовж дня і має колильний характер з певними періодами; періоди ЧСС залежать від активності людини та періоду доби; водночас ЧСС має тенденцію до зміцнення амплітуди та суттєво залежить від навантаженості людини.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Архипов, О.А. (2014). Біомеханічний аналіз: навч. посібник, 2-е видання. Київ: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 241.
2. Благітко, Б.Я., Заячук, І.М., Трач, В.М., & Пирогов, О.В. (2007). Математичне моделювання поширення пульсової хвилі у великих кровоносних судинах у практиці спорту. *Теорія та методика фізичного виховання*, (8), 34 – 36.
3. Виноградський, Б.А. & Лопатьєв, А.О. (2008). Перспективи розвитку біомеханіки спорту у світлі ідей професора Лапутіна А.М. *Актуальні питання сучасної біомеханіки фізичного виховання та спорту. Серія: Педагогічні науки, Фізичне виховання та спорт*. Чернівці, (54), 29–33.
4. Власов, А., Демічковський, А., Іващенко, О., Лопатьєв, А., Пітин, М., П'янило, Я. & Худолій, О. (2016). Системний підхід і математичне моделювання біологічних та природних об'єктів і процесів. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*, (23), 17-28.
5. Кашуба, Віталій (2016). Инновационные технологии в современном спорте. *Спортивный вестник Придніпров'я*, (1), 46-57.
6. Лапутин, А.Н. (1999). Гравитационная тренировка. К.: Знання, 315.
7. Лопатьєв, А.О., Дзюбачик, М.І. & Смільнянин, С.М. (2009). Особливості моделювання системи «стрілець – зброя – мішень». *Теорія та методика фізичного виховання*, 0(5), 37-42. Retrieved from <https://www.tmfv.com.ua/journal/article/view/533>
8. Лопатьєв, А. О., Власов, А. П. & Демічковський, А.П. (2017). Функціонування системи «стрілець – зброя –мішень» з врахуванням енергоінформаційної та гравітаційної взаємодії. *Теорія та методика фізичного виховання*, 17(1), 48-52.
9. П'янило, Ярослав, Лопатьєв, Анатолій, Борецький, Юрій & Череватий, Володимир (2017). Рух рідин в гнучких трубках із урахування їх параметрів та джерел. *Моделювання та інформаційні технології у фізичному вихованні та спорті. XIII Міжнародна наукова конференція*. Львів, 53-62.
10. П'янило, Ярослав, Лопатьєв, Анатолій, П'янило, Галина & Власов, Андрій (2017). Підходи до аналізу числових рядів. *Моделювання та інформаційні технології у фізичному вихованні та спорті. XIII Міжнародна наукова конференція*. Львів, 47-52.

Reference

1. Arkhypov, O.A. (2014). Biomekhanichniy analiz: navich.posibnyk, 2-e vydannia. Kyiv: NPU im. M.P. Drahomanova, 241.
2. Blahitko, B.Ya., Zaiachuk, I.M., Trach, V.M. & Pyrohov, O.V. (2007). Matematychnе modeliuвання poshyrennia pulsovoi khvyli u velykykh krovonosnykh sudynakh u praktytsi sportu. *Teoria ta metodika fizicnogo vihovanna*, (8), 34 – 36.
3. Vynohrads'kyi, B.A. & Lopatiev, A.O. (2008). Perspektyvy rozvytku biomekhaniky sportu u svitli idey profesora Laputina A.M. *Aktualni pytannya suchasnoyi biomekhaniky fizychnoho vykhovannya ta sportu. Seriya: Pedagogichni nauky, Fizychnе vykhovannya ta sport*. Chernihiv, (54), 29–33.
4. Vlasov, A., Demichkovskiy, A., Ivashchenko, O., Lopatiev, A., Pityn, M., Pianylo, Ya. & Khudolii, O. (2016). Systemnyi pidkhid i matematychnе modeliuвання biolohichnykh ta pryrodnykh ob'ektiv i protsesiv. *Fizyko-matematychne modeliuвання ta informatsiini tekhnolohii*, (23), 17-28.
5. Kashuba, Vytalyi (2016). Ynnovatsyonnye tekhnolohy v sovremennom sporte. *Sportyvnyi visnyk Prydniprovia*, (1), 46-57.
6. Laputin, A.N. (1999). Gravitatsionnaia trenirovka. K.: Znannia, 315.
7. Lopatiev, A.O., Dziubachyk, M.I. & Smilnianyn, S.M. (2009). Osoblyvosti modeliuвання systemy «strilets – zbroia – mishen». *Teoria ta metodika fizicnogo vihovanna*, 0(5), 37-42. Retrieved from <https://www.tmfv.com.ua/journal/article/view/533>
8. Lopatiev, A. O., Vlasov, A. P. & Demichkovskiy, A.P. (2017). Funktsionuvannia systemy «strilets – zbroia –mishen» z vrakhuvanniam enerhoinformatsiinoi ta hgravitatsiinoi vzaiemodii. *Teoria ta metodika fizicnogo vihovanna*, 17(1), 48-52.
9. Pjanylo, Yaroslav, Lopatiev, Anatolii, Boretskyi, Yurii & Cherevatyi, Volodymyr (2017). Rukh ridyn v hnuchkykh trubkakh iz urakhuvannia yikh parametriv ta dzherel. *Modeliuвання ta informatsiini tekhnolohii u fizychnomu vykhovanni ta sporti. XIII Mizhnarodna naukova konferentsiia*. Lviv, 53-62.
10. Pjanylo, Yaroslav, Lopatiev, Anatolii, Pjanylo, Halyna & Vlasov, Andrii (2017). Pidkhody do analizu chyslovykh riadiv. *Modeliuвання ta informatsiini tekhnolohii u fizychnomu vykhovanni ta sporti. XIII Mizhnarodna naukova konferentsiia*. Lviv, 47-52.

11. Khudolii, O.M., Ivashchenko, O.V., Iermakov, S.S. & Rumba O.G. (2016). Computer simulation of junior gymnasts' training process. *Science of Gymnastics Journal*, 8 (3), 215-228.
12. Lopatiev, A., Ivashchenko, O., Khudolii, O., Pjanylo, Y., Chernenko, S. & Yermakova, T. (2017). Systemic approach and mathematical modeling in physical education and sports. *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*, 17 (1), 146-155.
11. Khudolii, O.M., Ivashchenko, O.V., Iermakov, S.S. & Rumba, O.G. (2016). Computer simulation of junior gymnasts' training process. *Science of Gymnastics Journal*, 8 (3), 215-228.
12. Lopatiev, A., Ivashchenko, O., Khudolii, O., Pjanylo, Y., Chernenko, S. & Yermakova, T. (2017). Systemic approach and mathematical modeling in physical education and sports. *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*, 17 (1), 146-155.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Лопатьев А. А.^{1,2}, Власов А. П.¹, Демичковский А. П.¹

¹Львовский государственный университет физической культуры имени Ивана Боберского

²Центр математического моделирования Института прикладных проблем механики и математики им. Я. С. Подстригача

Реферат. Статья: 5 с., 1 табл., 12 источников.

Цель: заключается в сочетании методов и принципов биомеханики и механики сплошной среды для постановки и решения задач, имеющих практическое применение в экстремальных условиях.

Материалы и методы: исследовалось движение крови по крупным сосудам на основе уравнения Эйлера и Навье-Стокса. Для характеристики функционального состояния спортсмена использовано анализ работы сердечно-сосудистой системы. Начальные экспериментально измеренные частоты сердечных сокращений (ЧСС), определены кардиомонитором Polar RC800. Полученный временной ряд проанализировано с помощью программного пакета Kubios HRV.

Результаты: в статье предлагается рассматривать модель, описывающую человека в виде дискретно-непрерывной системы. С использованием уравнения Эйлера рассмотрено математическую модель движения крови по крупным сосудам. Приведена математическая модель процесса распро-

странения пульсирующей волны в кровеносных сосудах. Проведен поиск и интерпретация скрытых периодичностей относительно числовых рядов, имеющих место в тренировочной и соревновательной деятельности спортсменов, при анализе их биологических и сердечных ритмов.

Вывод: использование методов и принципов механики сплошной среды дает возможность делать постановку и решать задачи математической физики для нужд необходимых для практики. К таким задачам относятся движение крови по большим сосудам, вопрос теплозащиты и прочее. Частота сердечных сокращений меняется в течение дня и имеет колебательный характер с определенными периодами; периоды ЧСС зависят от активности человека и времени суток; одновременно ЧСС имеет тенденцию к стабилизации амплитуды и существенно зависит от нагрузки на человека.

Ключевые слова: биологическая и биомеханическая система; гравитационное поле; частота сердечных сокращений.

PECULIARITIES OF SIMULATION OF BIOMECHANICAL AND BIOLOGICAL SYSTEMS

Lopatiev A. O.^{1,2}, Vlasov A. P.¹, Demichkovskyy A. P.¹

¹Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Boberskiy

²Centre of Mathematical Modelling of IAPMM named after Ya.S.Pidstryhach of NASU

Report. Article: 5 p., 1 tabl., 12 sources.

The objective is to combine the methods and principles of biomechanics and continuum

mechanics in order to pose and solve problems that have practical application in extreme conditions.

Materials & methods: the movement of blood through large vessels was studied on the basis of the Euler and Navier-Stokes equations. Analysis of the cardiovascular system was used for the examination of the functional state of the athlete. The initial experimentally measured heart rate (HR) was determined by the Polar RC800 cardiac monitor. The resulting time series is analyzed using the software package Kubios HRV.

Results: the article proposes to consider a model describing human body as a discrete-continuous system. Using the Euler equation, a mathematical model of the movement of blood through large vessels is considered. A mathematical model of the process of pulse wave propagation in blood vessels is given. We found and interpreted hidden periodicities relative

to the numerical series occurring during analysis of biological and heart rhythms of athletes during training and competitive activities.

Conclusions: the use of methods and principles of continuum mechanics makes it possible to pose and solve the problems of mathematical physics for practical purposes. These include the movement of blood through large vessels, the issue of heat protection, and so on. The heart rate changes during the day and has a fluctuating character with certain periods. Periods of heart rate depend on the activity of a person and the time of day. Moreover, the heart rate tends to increase the amplitude and depend significantly on person's workload.

Keywords: biological and biomechanical system; gravitational field; heart rate.

Інформація про авторів:

Лопатьєв А.О.: snauper777@gmail.com; Львівський державний університет фізичної культури, Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача, вул. Дудаєва, 15, м. Львів, 79007, Україна.

Власов А.П.: anvitvl@ukr.net; Львівський державний університет фізичної культури, вул. Костюшка, 11, м. Львів, 79007, Україна.

Демічковський А.П.: snauper777@gmail.com; Львівський державний університет фізичної культури, вул. Костюшка, 11, м. Львів, 79007, Україна.

Цитуйте статтю як: Лопатьєв, А.О., Власов, А.П. & Демічковський, А.П. (2017). Особливості моделювання біомеханічних та біологічних систем. *Теорія та методика фізичного виховання*, 17(2), 79–85. doi: 10.17309/tmfv.2017.2.1192

Стаття надійшла до редакції: 15.05.2017 р. Прийнята: 20.06.2017 р. Надрукована: 25.06.2017 р.